МАССОВАЯ
РАДИО-
БИБЛИОТЕКА

А. К. БЕКТАБЕГОВ и М. С. ЖУК

ГРАММОФОННЫЕ ЗВУКОСНИМАТЕЛИ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

КАК ПОЛЬЗОВАТЬСЯ СТРОБОСКОПИЧЕСКИМ ДИСКОМ

Контроль числа оборотов граммофонного диска можно осуществить с помощью стробоскопического диска, помещенного на 3-й странице обложки. Если подобный диск, разделенный на p равных промежутков, привести во вращение с постоянным числом оборотов n и освещать источником света, делающим q вспышек в секунду, то при соблюдении условия $n = 60 \frac{q}{p}$ деления диска будут казаться неподвижными.

Если в сеть 50-периодного тока включить неоновую лампочку, то она будет давать 100 вспышек в секунду. Так как число промежутков на диске p может быть только целым числом, то число оборотов, при котором деления диска будут казаться неподвижными, в большинстве случаев получается дробным. Например:

для $p = 75$	76	77	78	79
$n = 80{,}00$	78,95	77,92	76,92	75,95

Таким образом, для того чтобы проконтролировать число оборотов граммофонного диска с вполне достаточной точностью (до 0,1%), на стробоскопическом диске надо иметь 77 делений.

Стробоскопический диск надевается на ось граммофонного диска и освещается неоновой лампой или лампой накаливания, питаемой 50-периодным током. При вращении диска, если число его оборотов равно 78, деления среднего круга, соответствующие этой скорости, должны казаться неподвижными. Деления наружного круга ($p = 75$), соответствующего 80 об/мин, будут казаться движущимися по часовой стрелке, а деления внутреннего круга ($p = 79$), соответствующего 75,9 об/мин,— против часовой стрелки. Если неподвижным будет казаться внешний круг, то число оборотов двигателя нужно уменьшить, а если внутренний, то число оборотов следует увеличить.

Испытание надо производить под нагрузкой, т. е. со звукоснимателем, поставленным на пластинку.

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА ***А. И. БЕРГА***

Выпуск 86

А. К. БЕКТАБЕГОВ
и М. С. ЖУК

ГРАММОФОННЫЕ ЗВУКОСНИМАТЕЛИ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1950 ЛЕНИНГРАД

В начале брошюра знакомит читателя с звукозаписью на диск и с технологическим процессом изготовления граммпластинок. Здесь же приводятся основные параметры стандартных граммпластинок.

Далее описывается принцип действия электромагнитных звукоснимателей, разбирается устройство наиболее распространенного звукоснимателя типа Радист, отмечаются его достоинства и недостатки.

В следующем разделе брошюры приводятся конструкции новых электромагнитных звукоснимателей, разработанчых во Всесоюзном научно-исследовательском институте звукозаписи (ВНАИЗ), выпуск которых начат радиопромышленностью. Описание одного из этих звукоснимателей (тип З-94) сделано так, чтобы его можно было изготовить своими средствами в радиолюбительских условиях. Затем дается описание устройства и принципа действия пьезоэлектрических звукоснимателей, выпускаемых промышленностью (тип ПЗ-1 и АПР). Отмечены особенности их частотных характеристик.

В заключение приводятся способы измерения параметров звукоснимателей.

Брошюра в основном рассчитана на радиолюбителей средней квалификации, но может быть полезна и для более подготовленных читателей.

СОДЕРЖАНИЕ

Редактор *В. Г. Корольков* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в набор 28/VII 1950 г. Подпнсано к печати 5/XI 1950 г.
Бумага $84 \times 108^1/_{32} = {}^3/_4$ бум. л. — 2,46 печ. л. 3 уч.-изд. л.
Т-07979 Тираж 25 000 экз. Заказ 225

Типографня Госэнергонздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ГРАММОФОННАЯ ПЛАСТИНКА

Обычная граммофонная пластинка представляет собой тонкий пластмассовый диск, на рабочие поверхности обеих сторон которого нанесена спиральная звуковая канавка. Воспроизведение граммофонной пластинки может осуществляться с помощью хорошо всем известного портативного граммофона (так называемое акустическое воспроизведение), либо с помощью электрического звукоснимателя и усилителя (электрическое воспроизведение).

Пластинка ставится на диск, приводимый во вращение пружинным механизмом или небольшим электродвигателем. На начало звуковой канавки опускается конец иглы, вставленной в держатель звукоснимателя. При вращении пластинки игла скользит по извилинам канавки и передает свои колебания механизму звукоснимателя.

При акустическом воспроизведении звуковая коробка (мембрана) сама преобразует эти колебания в звук, при электрическом воспроизведении звукосниматель (иногда называемый адаптером) вырабатывает электрические токи, которые после соответствующего усиления преобразуются громкоговорителем в звук. Несмотря на некоторую сложность электрическое воспроизведение получило в настоящее время большое распространение, так как обеспечивает более высокое качество звучания и позволяет в широких пределах регулировать его громкость.

Записи на граммофонных пластинках весьма разнообразны, но любая из них является записью различных звуков. Поэтому прежде всего следует вспомнить, что представляет собой звук. Звуковые волны в какой-либо жидкой или газообразной среде, например в воздухе, представляют собой чередующиеся сгущения и разрежения, которые распространяются во все стороны от источника звука с определенной скоростью. При этом частицы среды совершают колебательные движения. В воздухе при комнатных усло-

виях скорость распространения звука равна примерно 340 *м/сек.*

Звуковые колебания частиц среды, как и любые другие колебания, характеризуются двумя основными величинами — частотой и амплитудой. Частотой называется число колебаний, совершаемых колеблющимся телом за 1 сек. Частота колебаний определяет высоту звука. При малой частоте — звук низкий, густой; при большой — высокий, тонкий. Слышимый ухом диапазон частот простирается от 16 до 20 000 *гц* (один герц равен одному колебанию в секунду).

Амплитудой называется расстояние от среднего положения колеблющегося тела до точки наибольшего отклонения. При этом, чем больше амплитуда колебаний частиц воздуха, тем больше при прочих равных условиях сила звука. Последняя измеряется в особых единицах — децибелах, с которыми мы часто будем иметь дело в дальнейшем.

Слуховой аппарат человека подчиняется известному закону, общему для всех органов чувств. Закон этот гласит: прирост ощущения прямо пропорционален логарифму отношения раздражений. Таким образом, превышение силы одного звука над другим будет выражаться как отношение

$$N = \lg \frac{J_1}{J_2}$$

и измеряться в белах. Бел принят как единица измерения силы звука, причем, если один звук обладает силой в десять раз больше другого, то разность уровней этих звуков равна одному белу.

Однако в технике более употребительна единица, равная одной десятой бела, — децибел (сокращенно *дб*).

Для того, чтобы перейти к децибелам, надо логарифм отношения сил звуков умножить на 10. Таким образом,

$$N_{дб} = 10 \cdot \lg \frac{J_1}{J_2}.$$

Аналогичной формулой пользуются и для сравнения двух электрических мощностей токов звуковой частоты

$$N_{дб} = 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_2}.$$

Если сравнивать не мощности, а напряжения U_1 и U_2, создаваемые на сопротивлениях одной и той же величины,

то, так как отношение мощностей равно квадрату отношения напряжений,

$$N_{\partial б} = 10 \cdot \lg \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 = 20 \cdot \lg \frac{U_1}{U_2}.$$

Последней формулой приходится часто пользоваться, когда речь идет о качественных характеристиках звукоснимателей. В любой системе записи стремятся к тому, чтобы звучание при воспроизведении приближалось к натуральному. Однако достигнуть этого в обычных условиях невозможно в силу ряда ограничений, создаваемых аппаратурой.

Наиболее существенными из них, определяющими качество записи на граммофонную пластинку, являются следующие:

1. Невозможность при пользовании аппаратурой обычного типа воспроизвести натуральный динамический диапазон звучания. Динамическим диапазоном называется разность между уровнями громкости наиболее сильного и наиболее слабого звуков (например, динамический диапазон симфонического оркестра оказывается равным 70 *дб*).

Сохранить такой диапазон на граммофонной пластинке невозможно. Известно, что пластинка обладает собственным шумом, так называемым «шипением», хорошо различимым при воспроизведении. Самый слабый записанный звук, естественно, должен быть громче этого шипения, так как иначе он не будет услышан. Наиболее же громкий звук, который можно записать на пластинку, определяется максимальной допустимой амплитудой записи. В результате этих ограничений динамический диапазон записи на пластинке оказывается равным примерно 30—35 *дб.*

2. Невозможность при пользовании аппаратурой обычного типа воспроизвести натуральный частотный диапазон звучания. Как уже было упомянуто выше, частотный диапазон, воспринимаемый человеческим ухом, простирается от 16 до 20 000 *гц*. Большинство же радиоприемников и радиограммофонов более или менее равномерно воспроизводит частоты от 90—100 до 6 000 *гц*. На граммофонную пластинку записывается несколько более широкий диапазон частот — от 50 до 6 000—8 000 *гц*.

Следует отметить, что сокращение динамического диапазона, а также шипение, пожалуй, — основные недостатки обычной граммофонной пластинки, так как сокращение частотного диапазона на слух сказывается гораздо меньше.

Производственное изготовление граммофонных пластинок состоит из следующих операций.

Первичная запись осуществляется на диске из воскоподобной массы, называемой просто «воском».

Звуковые волны воспринимаются микрофоном, который преобразует их в электрические колебания. Последние усиливаются усилителем низкой частоты и подаются на звукозаписывающую головку — так называемый рекордер. Рекордер преобразует электрические колебания в механические колебания резца. Так как диск вращается с постоянной угловой скоростью, делая 78 об/мин, а сам рекордер совершает поступательное движение вдоль радиуса диска от края к центру, то резец вырезает на диске спиральную канавку. В зависимости от того, в каком направлении, вертикальном или горизонтальном, резец совершает колебания, различают две системы записи: глубинную и поперечную. Всеобщее распространение получила поперечная запись, при которой резец колеблется по направлению радиуса диска.

После записи воск в специальной камере покрывается тончайшим слоем металлического серебра или золота, на который затем гальваническим способом производится наращивание слоя красной меди требуемой толщины. После удаления воска получается металлический отпечаток, так называемый первый оригинал, с которого уже можно осуществлять печатание граммпластинок. Однако для сохранения записи с первого оригинала снимают ряд гальванопластических копий, с нечетных номеров которых (обычно с пятых) на специальных прессах и производится печатание пластинок.

Форма, размеры и вес пластинок стандартизованы. В настоящее время наша промышленность выпускает граммофонные пластинки двух основных форматов — диаметром 250 *мм* (Φ_{25}) и диаметром 300 *мм* (Φ_{30}).

Основные данные этих пластинок приведены в табл. 1.

Шаг записи берется равным 0,302; 0,265; или 0,240 *мм*, что соответствует плотности (числу канавок на 1 *см*):

при уширенной записи	(шаг 0,302 *мм*)	33,1,
„ нормальной „	(шаг 0,265 *мм*)	37,8,
„ уплотненной „	(шаг 0,240 *мм*)	41,7

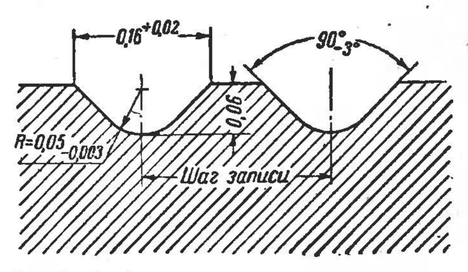
(уплотненной записью пользуются редко).

Формат пластинки	Наружный диаметр в *мм*	Диаметр начала записи в *мм*	Минимальный диаметр последней канавки записи в *мм*	Диаметр замкнутого концентрического круга в *мм*	Диаметр этикетки в *мм*	Диаметр отверстия в *мм*	Толщина пластинки в *мм*	Вес пластинки в *г*
Φ_{25}	$250^{\pm 2}$	$240^{\pm 1}$	105	95_{-1}	$80_{-0,2}$	$7^{+0,2}$	$1,9^{+0,1}_{-0,2}$	108^{+10}_{-20}
Φ_{30}	$300^{\pm 3}$	$238^{\pm 1}$	105	95_{-1}	$80_{-0,4}$	$7^{+0,2}$	$2,1^{+0,2}$	$270^{\pm 30}$

Максимальное время звучания пластинок (без учета шести «немых» канавок — трех в начале и трех в конце записи) приведено в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2

Формат пластинки	Плотность записи		
	33,1 *кан/см*	37,8 *кан/см*	41,7 *кан/см*
Φ_{25}	2 мин. 47 сек.	3 мин. 12 сек.	3 мин. 32 сек.
Φ_{30}	3 мин. 48 сек.	4 мин. 22 сек.	4 мин. 50 сек.



Фиг. 1. Профиль поперечного сечения канавки.

Профиль поперечного сечения звуковой канавки со всеми размерами приведен на фиг. 1.

ЗВУКОСНИМАТЕЛИ

Для электрического воспроизведения граммофонных пластинок применяются звукосниматели, которые преобразуют механические колебания иглы, скользящей по звуковой канавке, в колебания электрические. Качество воспроизведения, а также изнашивание граммпластинок в значительной мере зависят от звукоснимателя. Работа последнего характеризуется рядом показателей, к описанию которых мы и переходим.

1. Частотная характеристика. Можно считать, что запись чистого тона на граммпластинке представляет собой синусоидальную кривую, которая, как известно, характеризуется двумя величинами: амплитудой и частотой. Конец резца при записи чистого тона, вырезая на диске звуковую канавку, совершает гармоническое колебание вокруг среднего положения; при этом максимальная скорость конца резца в таком колебательном движении, называемая иначе колебательной скоростью, зависит как от амплитуды записи, так и от частоты и определяется формулой

$$x' = 0{,}628 \cdot f \cdot A,$$

где x' — колебательная скорость в *см/сек*, f — частота в *гц* и A — амплитуда в *мм*.

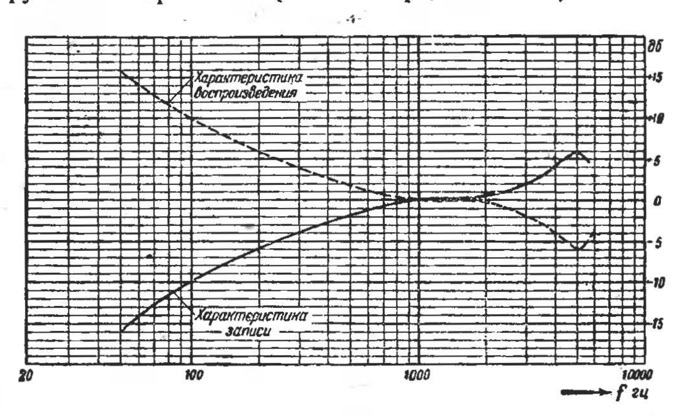
Если на граммпластинке произвести запись чистого тона, поддерживая все время постоянной силу звука, но постепенно изменяя его частоту, то колебательная скорость, а также амплитуда записи будут меняться определенным образом.

Частотной характеристикой записи и называется график, показывающий изменение колебательной скорости в зависимости от частоты записываемого звука. Частотная характеристика записи для обычных граммофонных пластинок приведена на фиг. 2. Очевидно, что для хорошего воспроизведения частотная характеристика воспроизводящего устройства (пунктирная кривая на фиг. 2) должна быть обратной характеристике записи, а характеристика звукоснимателя должна приближаться к характеристике воспроизведения. Тогда звукосниматель будет обеспечивать хорошее звучание граммзаписи при включении его в обычный усилитель или приемник.

Характер частотной характеристики звукоснимателя определяется особенностями его механической системы. Дело

в том, что любой звукосниматель представляет собой сложную механическую колебательную систему, которая может иметь несколько резонансов, лежащих на разных частотах. Обычно этих резонансов бывает два.

Первый или главный резонанс лежит в области высоких частот (от 3 000 *гц* и выше) и определяется массой и упругостью закрепления (иначе говоря, подвеской) подвиж-



Фиг. 2. Характеристики записи и воспроизведения.

ной системы звукоснимателя. Второй резонанс лежит в области низких частот (от 30 до 100 *гц*) и обусловливается массой всего звукоснимателя (с тонармом) и упругостью крепления якоря. Прн этом, чем больше масса колебательной системы и чем меньше упругость ее закрепления, тем резонансная частота будет ниже. Следовательно, чтобы расширить рабочий частотный диапазон звукоснимателя, ограничиваемый обычно этими двумя резонансами, надо, уменьшая массу и увеличивая упругость подвески подвижной системы, передвинуть главный резонанс в сторону более высоких частот, а, увеличивая массу самого звукоснимателя передвинуть второй резонанс в сторону частот более низких.

На резонансных частотах чувствительность звукоснимателя сильно возрастает, что вызывает неравномерность его частотной характеристики и может при воспроизведении вызвать выкрики на этих частотах. Необходимо указать,

что, чем ровнее характеристика звукоснимателя, т. е. чем меньше выражены указанные резонансы, тем лучше работает звукосниматель как в отношении качества воспроизведения, так и в отношении механической нагрузки на стенки звуковой канавки (на резонансной частоте эта нагрузка резко возрастает).

Следует также обратить внимание на то, что характеристика воспроизведения (фиг. 2) на частоте 5 000 *гц* имеет завал порядка 6 *дб*. Однако в области этих частот в характеристиках звукоснимателей часто наблюдается пик величиной до 5—8 *дб*. Поэтому при воспроизведении могут прослушиваться выкрики, а также резко выделяться «шипение» пластинки (наиболее интенсивная часть частотного спектра «шипения» лежит как раз в этой области).

Частотная характеристика звукоснимателя снимается с помощью так называемых частотных пластинок (см. далее) в условиях постоянной колебательной скорости на всех частотах. Поэтому принципиально характеристика электромагнитного звукоснимателя, э. д. с. которого пропорциональна как раз колебательной скорости конца иглы, должна иметь вид прямой горизонтальной линии.

Частотная характеристика пьезоэлектрического звукоснимателя, отдача которого пропорциональна смещению конца иглы, должна иметь вид наклонной прямой, спускающейся от низких частот к высоким.

Однако, вследствие наличия резонансов, характеристики звукоснимателей существенно отличаются от прямых. Реальные частотные характеристики электромагнитного и пьезоэлектрического звукоснимателей приведены ниже (фиг. 5 и 19).

Чтобы приблизиться к характеристике воспроизведения, к звукоснимателям иногда добавляют корректирующие контуры. Такое решение неудобно, так как упрощенные контуры не дают хороших результатов, а сложные заметно удорожают звукосниматель. В современных радиоприемниках предусмотрена регулировка воспроизведения высоких частот (на низких частотах отдача приемников более или менее равномерно падает), поэтому для них подошел бы звукосниматель с характеристикой, имеющей некоторый подъем в сторону низких частот и горизонтальный ход или плавный завал в сторону высоких частот. Такой звукосниматель обеспечил бы хорошее качество воспроизведения.

2. Вес, приведенный к концу иглы. Давление конца иглы на пластинку, иначе говоря, вес, приведенный к концу иглы, имеет очень важное значение, так как от его величины зависит износ записей. В каждом типе звукоснимателей этот вес не может быть меньше определенной величины, соответствующей оптимальному или критическому давлению. Это то наименьшее давление, при котором игла еще точно следует по модулированной канавке. При давлении меньше критического игла при громких звуках на самых низких частотах, где амплитуда наиболее велика, будет выталкиваться вверх; при этом появятся заметные искажения, воспринимаемые в виде хрипа.

Оптимальный вес, приведенный к концу иглы, зависит от параметров подвижной системы звукоснимателя. Чем меньше действующая масса подвижной системы и чем меньше упругость ее закрепления, тем меньше будет оптимальный вес и, естественно, меньше износ записи. Заметное уменьшение этих величин достигается в звукоснимателях с постоянными иглами (обычно сапфировыми). Так, например, в широкополосном звукоснимателе с постоянной иглой, типа З-57, разработанном еще в 1940 году во ВНАИЗ'е для воспроизведения первичных записей с восковых дисков, вес, приведенный к концу иглы, составляет всего 5 *г*.

3. Чувствительность звукоснимателя. Чувствительностью звукоснимателя называется его отдача при воспроизведении частоты 1 000 *гц*, записанной с колебательной скоростью 4,08 *см/сек*. Эта скорость соответствует амплитуде записи 0,0065 *мм*. Так как непосредственно измерить амплитуду записи весьма трудно, то для определения ее величины, а также величины колебательной скорости, пользуются измерением так называемого светового блика записи.

Световой блик на пластинке легко наблюдать, если освещать ее из-за спины наблюдателя параллельным пучком света, например солнечным лучом. Ширина светового блика связана с амплитудой записи и колебательной скоростью в пластинках, записанных при 78 об/мин, следующими соотношениями:

$$A = 0{,}65\frac{b}{f}\ \text{мм, или}\ b = 1{,}54\,Af\ \text{мм},$$

где A — амплитуда записи в *мм*, b — ширина блика в *мм* и f — частота в *гц*.

Так как $x' = 0{,}628\ A \cdot f$, то, выражая колебательную скорость через ширину блика, имеем:

$$x' = 0{,}408 \cdot b,$$

где x' — колебательная скорость в *см/сек*.

Таким образом, под чувствительностью звукоснимателя понимается его отдача (создаваемое им напряжение) при воспроизведении частоты 1 000 *гц*, записанной с бликом в 1 *см*. Измеряется чувствительность в вольтах на сантиметр блика.

4. Нелинейные искажения. Кроме частотных искажений, возникающих из-за неравномерности частотной характеристики звукоснимателей, весьма существенное значение имеют нелинейные искажения. Последние проявляются в том, что в спектре звучания появляются тона, отсутствующие в записи.

В звукоснимателях причина возникновения этих тонов заключается обычно в том, что при воспроизведении смещение подвижной системы оказывается не прямо пропорциональным воздействующей на нее силе. В этом случае появляются призвуки, воспринимаемые в виде характерного хрипения.

Наличие нелинейных искажений в звукоснимателях во многом зависит от качества их сборки и регулировки. В пьезозвукоснимателях эти искажения в сильной степени зависят еще и от качества демпфирующих прокладок. О способах уменьшения нелинейных искажений будет рассказано ниже.

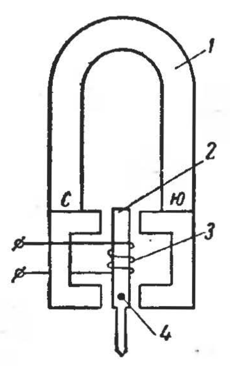
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЗВУКОСНИМАТЕЛИ

Описываемые ниже электромагнитные звукосниматели построены по мостовой магнитной схеме, показанной на фиг. 3.

Подковообразный магнит *1* снабжен двумя П-образными полюсными наконечниками из мягкой стали. Якорь *2* из того же материала свободно проходит через неподвижную катушку *3* и может вращаться вокруг оси *4*, обычно расположенной между нижними плечами полюсных наконечников. Таким образом, якорь представляет собой диагональ моста и в нейтральном положении вдоль тела якоря магнитный поток не проходит. Последнее обстоятельство является существенным преимуществом системы, так как

в этом случае якорь может быть сделан очень небольшим и, следовательно, легким.

Во время работы звукоснимателя якорь отклоняется от среднего положения, и баланс магнитного моста нарушается. По якорю в соответствующем направлении проходит магнитный поток, величина которого тем больше, чем больше отклоняется якорь. При изменении же магнитного потока, проходящего внутри катушки, в последней, как известно, возникает э. д. с.



Фиг. 3. Мостовая схема электромагнитного звукоснимателя.

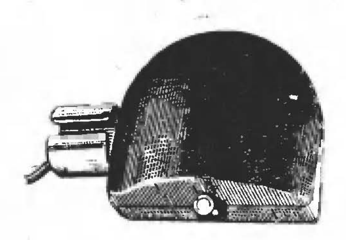
1. Звукосниматель типа Радист. Этот звукосниматель чаще всего выпускался в виде насадной головки, которая предназначалась для установки на тонарм акустического граммофона вместо мембраны. Общий вид звукоснимателя и его разрез приведены на фиг. 4а и 4б. Здесь якорь *1* запрессован в катушку *2* вместе с резиновой трубкой *3*, которая выполняет одновременно функции элемента, центрирующего якорь, и демпфера. Для придания всей конструкции надлежащей жесткости катушка на прочном каркасе вставляется в полюсные наконечники *4*, которые в свою очередь плотно вставляются между полюсами магнита *5*.

Такая конструкция не в состоянии обеспечить надлежащую центровку якоря в верхних и нижних зазорах, что вызывает разбалансировку магнитного моста и появление нелинейных искажений.

Якорь может качаться в своем резиновом держателе во всех направлениях вокруг неопределенной воображаемой оси вращения. В работе эта ось лежит между верхними и нижними плечами полюсных наконечников, выше зажимного винта, что резко увеличивает приведенную к концу иглы массу якоря и создает излишнюю нагрузку на стенки канавки.

Большая масса якоря, приведенная к концу иглы, определяет сравнительно низкую частоту верхнего резонанса механической системы (3 000—4 000 *гц*). По этой же причине оптимальный вес, приведенный к концу иглы, имеет сравнительно большую величину — порядка 120 *г*.

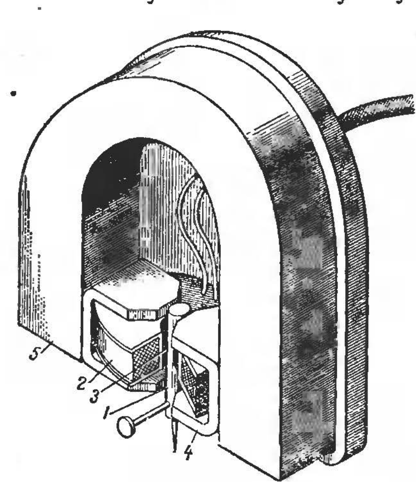
Типичная частотная характеристика звукоснимателя Радист приведена на фиг. 5. Как можно видеть, резонансный пик лежит на частоте 4 000 *гц* и достигает 8 *дб*.



Фиг. 4а. Общий вид звукоснимателя Радист.

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод, что звукосниматель Радист при воспроизведении вносит значительные частотные и нелинейные искажения и, кроме того, обладает большим весом, приведенным к концу иглы. Если подобная конструкция представляла некоторый интерес в тридцатых годах, то в настоящее время она совершенно устарела.

Основные данные звукоснимателя Радист следующие: рабочий диапазон частот — от 75 до 4 500 *гц*; чувствительность — 0,2 *в/см* блика; вес, приведенный к концу иглы (на тонарме портативного граммофона), — 120 *г*.; сопротивление катушки постоянному току — 3 000 *ом*; полное сопротивление на частоте 1 000 *гц* — 12 000 *ом*; число витков катушки — около 6 000, провод — ПЭ 0,05.

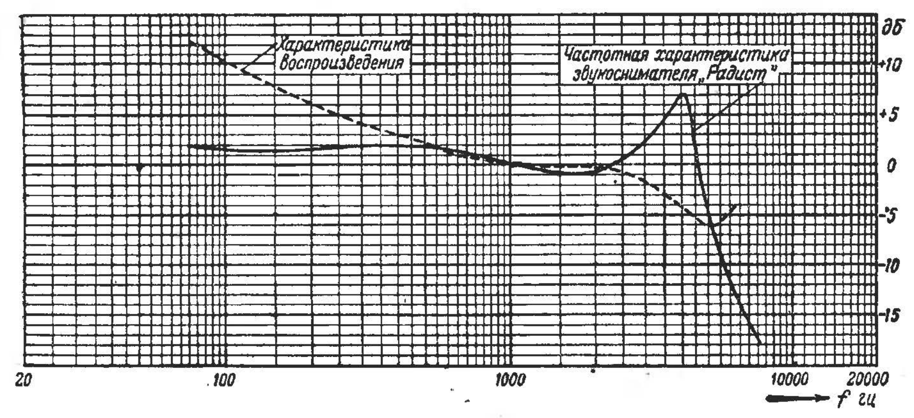


Фиг. 4б. Разрез звукоснимателя Радист.

2. Звукосниматель типа З-96 (Аккорд). Данный звукосниматель выполнен в виде насадной головки, надеваемой на тонарм акустического граммофона вместо мембраны.

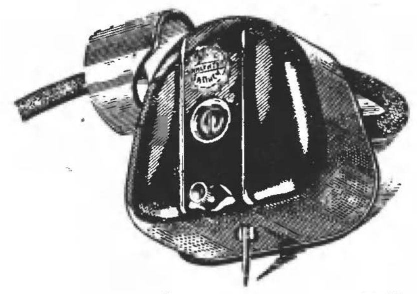
Внешний вид и конструкция звукоснимателя показаны на фиг. 6а и 6б.

Якорь *1* имеет крестообразную форму,



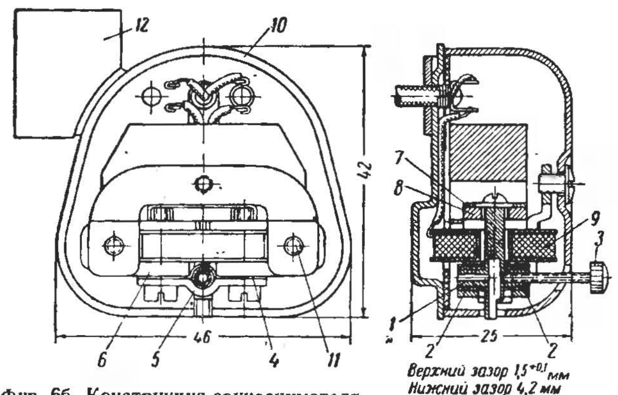
Фиг. 5. Характеристика звукоснимателя Радист.

Горизонтальный вал якоря находится в резиновых подшипниках *2*. В передней части вала находится зажимной винт *3*, который лежит на оси вращения якоря. Такое расположение зажимного винта наиболее выгодно с точки зрения уменьшения массы якоря, приведенной к концу иглы. Отверстие под иглу имеет V-образную форму, что делает крепление иглы в якоре весьма надежным и обеспечивает нормальную работу звукоснимателя на высоких частотах.



Фиг. 6а. Внешний вид звукоснимателя З-96.

Якорь зажат между рамкой *4* и стяжкой *5*, которые крепятся винтами к полюсовым наконечникам *6*, связывая эти последние между собой. Сверху на полюсных наконечниках с помощью латунной



Фиг. 6б. Конструкция звукоснимателя З-96.

рамки *7* укреплен резиновый блок *8*, выполняющий одновременно роль демпфера и центрирующего элемента. В резине сделана прорезь, в которую входит конец верхней плоской части якоря. Катушка *9*, через которую свободно

проходит якорь, закреплена (при помощи клея) в полюсных наконечниках. Вся система прикрепляется к корпусу *10* винтами *11*.

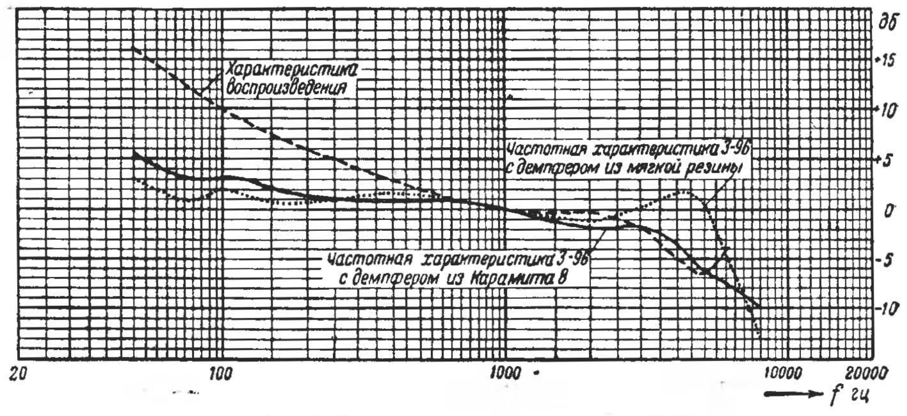
Центровка горизонтального вала якоря производится автоматически во время сборки системы, так как полюсные наконечники упираются в выгнутую часть рамки *4*. Надо только следить, чтобы стенка резиновой трубки, которая применяется в качестве подшипников, была одинаковой толщины. Верхний конец вертикального вала точно центрируется передвижением рамки демпфера в соответствующую сторону, после чего рамка закрепляется винтами.

При сборке необходимо следить за тем, чтобы еще до установки демпфера плоская часть якоря находилась посередине между верхними плечами полюсных наконечников. Необходимо, чтобы демпфер лишь фиксировал это положение; злоупотреблять здесь возможностью регулировки не следует, так как большой начальный перекос якоря приводит к возникновению нелинейных искажений даже в случае последующей центровки якоря демпфером. Искажения возникают из-за наличия постоянного неуравновешенного усилия, стремящегося сместить якорь в сторону.

Демпфер изготовлен (в основном варианте звукоснимателя) из специального демпфирующего материала (карамит *8*), обеспечивающего полное подавление резонансного пика в области высоких частот, благодаря чему на этих частотах частотная характеристика звукоснимателя приближается к требуемой характеристике воспроизведения. Обе характеристики приведены на фиг. 7. Как можно видеть, в области высоких частот они почти совпадают. В области низких частот характеристика звукоснимателя идет почти горизонтально, что вызвано свойствами тонарма акустического граммофона.

Следует иметь в виду, что из-за несоответствующего тонарма к таким звукоснимателям вообще нельзя предъявлять высоких требований и их следует причислить к звукоснимателям 2-го класса. Однако и с ними могут быть получены вполне удовлетворительные результаты.

При применении в качестве демпфера обыкновенной мягкой резины характеристика звукоснимателя изменяется (фиг. 7). Все же, благодаря отсутствию резко выраженного резонансного пика на высоких частотах, такая головка оказывается вполне приемлемой, так как некоторый избыток высоких частот можно компенсировать регулятором



Фиг. 7. Характеристики звукоснимателя З-96.

тембра приемника. Чувствительность звукоснимателя при такой замене демпфера возрастает примерно на 20%.

Якорь и полюсные наконечники выполняются из мягкой стали. Обе рамки (демпфера и якоря) и стяжка — латунные (должны быть защищены лаковым покрытием от непосредственного соприкосновения с резиной). Корпус и крышка — алюминиевые (могут быть сделаны также из латуни или пластмассы). Держатель *12* звукоснимателя — стальной. Магнит изготовлен из никель-алюминиевого сплава.

Основные данные звукоснимателя З-96 следующие: рабочий диапазон частот от 50 до 5 500 *гц*; чувствительность 0,2 *в/см* блика; вес, приведенный к концу иглы (на тонарме портативного граммофона, в рабочем положении звукоснимателя) 90 *г*; сопротивление катушки постоянному току 1 600 *ом*; число витков 4 500, провод ПЭ 0,05; полное сопротивление на частоте 1 000 *гц* равно 4 000 *ом*; угол наклона иглы к пластинке при установке звукоснимателя на тонарме портативного граммофона 60°.

3. Звукосниматель типа З-94. Звукосниматель, предназначенный для установки в радиолах или электропроигрывателях, конструируется как законченный самостоятельный прибор, составляющий одно целое с тонармом. Было бы ошибкой думать, что звукосниматель можно укрепить на любом рычаге, снабженном поворотной ножкой. Как уже говорилось, данные тонарма определяют частотную характеристику звукоснимателя в области низких частот, и поэтому соединение последнего с каким-либо случайным тонармом может привести к плохому результату.

Среди радиолюбителей существует большая потребность в звукоснимателе подобного типа. Поэтому ниже приводится подробное описание звукоснимателя типа З-94, который можно изготовить своими силами. Хотя изготовление такого звукоснимателя и требует относительно сложных, преимущественно слесарных работ, но все же оно доступно радиолюбителю средней квалификации, а тем более радиокружку.

Внешний вид и конструкция звукоснимателя З-94 приведены на фиг. 8а и 8б, а размеры всех основных деталей указаны на чертежах в конце брошюры (Приложение на стр. 45—48).

Принципиально конструкция механизма звукоснимателя аналогична звукоснимателю типа З-96. Якорь *1* имеет крестообразную форму. Горизонтальный вал якоря, несущий в своей передней части зажимной винт *3*, зажат в резино-

вых подшипниках 2 между латунной рамкой 4 и алюминиевым корпусом. Выгнутая часть рамки 4 служит упором для полюсных наконечников 6. Наличие такого упора гарантирует нужную величину нижнего и верхнего зазоров, а также центровку горизонтального вала якоря. Полюсные наконечники крепятся к корпусу винтами *10*. Сверху на полюсных наконечниках с помощью латунной рамки 7 укреплен резиновый блок 8, выполняющий одновременно роль демпфера и центрирующего элемента. В резине сделана прорезь, в которую входит конец верхней плоской части якоря. Катушка 9, через которую свободно проходит якорь, неподвижно закреплена в полюсных наконечниках. Все указания относительно сборки, приведенные для звукоснимателя З-96, должны быть выполнены и в данном случае.

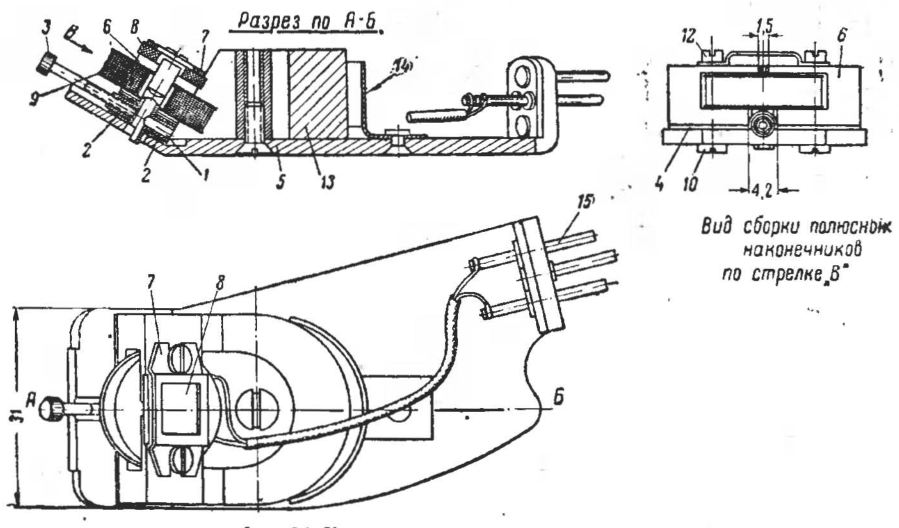


Фиг. 8а. Внешний вид звукоснимателя З-94.

В качестве демпфера в основном варианте звукоснимателя применен специальный демпфирующий материал (карамит 8), подавляющий резонансный пик в области высоких частот. В результате на этих частотах удается получить пологую спадающую характеристику (фиг. 9).

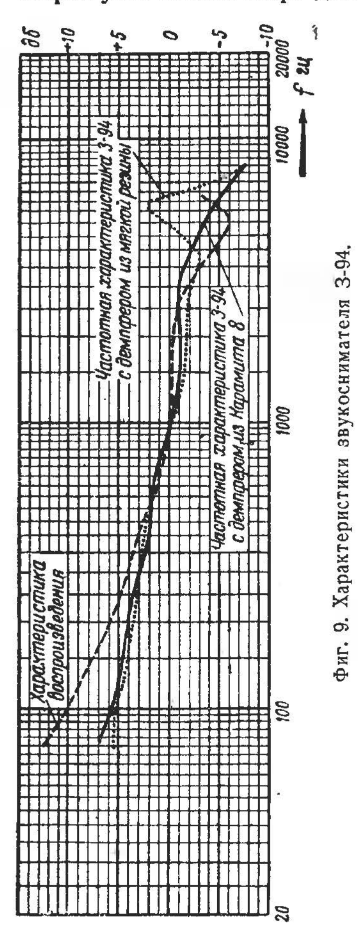
Применение в качестве демпфера обыкновенной мягкой резины изменяет частотную характеристику звукоснимателя и вызывает появление некоторого пика на высоких частотах.

Сборка звукоснимателя типа З-94. Сборка звукоснимателя производится следующим образом. На якорь 1 (фиг. 8) надеваются резиновые подшипники 2, представляющие собой кусочки ниппельной резиновой трубки длиной 4 *мм*. Якорь ставится на корпус 5 и на него накладывается рамка 4. Затем на якорь надевается катушка 9, ставятся на место полюсные наконечники 6, и весь узел привинчивается к корпусу двумя винтами *10*. При этом полюсные наконечники должны упираться в выгнутую часть рамки. Необходимо следить за тем, чтобы они стояли точно друг против друга так, чтобы стороны, которые соприкасаются



Фиг. 86. Конструкция звукоснимателя З-94.

с полюсами магнита, лежали в одной плоскости. После сборки узла язычок якоря должен находиться точно в середине верхнего зазора. Несоблюдение этого условия влечет за собой возникновение нелинейных искажений при воспроизведении (см. раздел «Звукосниматель типа З-96»). Катушка устанавливается так, чтобы якорь был в центре ее отверстия. Закрепляется она с помощью картонных клинышков или клея.



Фиг. 9. Характеристики звукоснимателя З-94.

После этого на выступающий язычок якоря надевается демпфер *8*, на который накладывается рамка *7*. Якорь окончательно центрируется и рамка закрепляется винтами *12*. Затем ставится на место магнит *13*, который фиксируется пружинной скобой *14*. После установки магнита еще раз проверяется центровка язычка якоря и концы катушки припаиваются к выводным штифтам или ламелям 15. В таком виде механизм звукоснимателя готов к установке на тонарм.

Детали звукоснимателя типа З-94. Для резиновых подшипников следует брать эластичную и однородную по толщине ниппельную резиновую трубку размерами, указанными на чертеже, или более тонкую. В последнем случае для предотвращения болтания якоря следует под резину под-

ложить слой бумаги. Якорь должен очень плотно сидеть в подшипниках.

Якорь и полюсные наконечники следует делать из мягкой отожженной стали. Если есть возможность, то их лучше всего изготовить из железа типа Армко. Применение такого железа уменьшает поток рассеяния магнита и повышает чувствительность звукоснимателя. Отверстие под иглу в якоре следует делать V-образным, путем обжатия на оправке. Такая форма отверстия гарантирует хорошее закрепление иглы и нормальную работу ее на высоких частотах.

Каркас для катушки делается из целлулоида, эбонита или в крайнем случае картона. Намотка катушки производится проводом ПЭ 0,05 до заполнения каркаса (около 4 500 витков). Для увеличения чувствительности можно производить намотку более тонким проводом (ПЭ 0,04 или ПЭ 0,03). Выводы делаются более толстым проводом, например ПШД 0,15. Сопротивление катушки постоянному току при проводе ПЭ 0,05 должно быть около 1 600 *ом*.

Тонарм в заводских условиях штампуется из алюминия или прессуется из пластмассы. В любительских условиях он может быть изготовлен из листовой латуни толщиной 0,7 — 0,8 *мм*, целлулоида или органического стекла толщиной от 1 до 1,5 *мм*. Можно также изготовить тонарм из твердых пород дерева, например из бука, причем толщину стенки следует брать 1,5—2 *мм*.

Крючок, который укреплен сверху на тонарме, изготовляется из латунной полоски. Он служит для установки и съема звукоснимателя с пластинки.

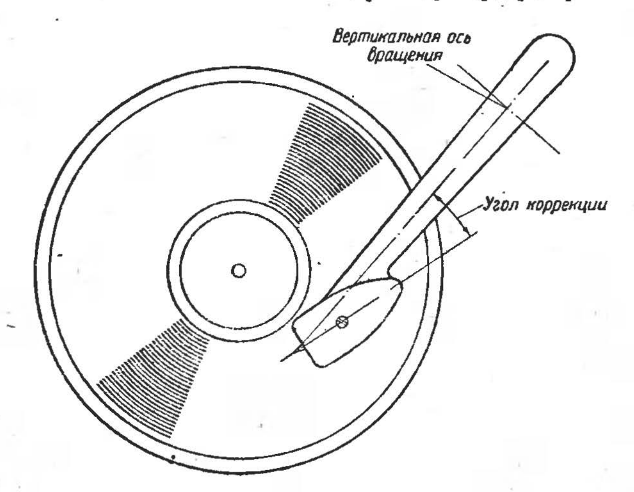
Поворотную ножку тонарма лучше всего взять готовую от пьезоэлектрического звукоснимателя типа ПЗ-1.

Отжимная пружина может быть сделана из стали, фосфористой бронзы или гартованной латуни. Вращающийся шарик на ее конце необходим для уменьшения трения в случае движения звукоснимателя в вертикальной плоскости при его ходе по пластинке. Эти движения всегда имеют место из-за неровности диска или пластинки.

Приводим основные данные звукоснимателя типа З-94: рабочий частотный диапазон — от 75 до 6 500 *гц*; чувствительность — 0,2 *в/см* блика; вес, приведенный к концу иглы (в рабочем положении звукоснимателя) — 60 *г*; сопротивление катушки постоянному току — 1 600 *ом*; полное сопротивление на частоте 1 000 *гц* равно 3 000 *ом*.

Установочные размеры: расстояние между центром вращения диска и вертикальной осью вращения тонарма — 195 *мм*; расстояние от конца иглы до этой оси — 202 *мм*; выход иглы за центр вращения диска — 7 *мм*.

4. Угол коррекции. Особо следует рассмотреть вопрос, относящийся к так называемому углу коррекции звукоснимателя. Как было сказано выше, резец рекордера при запи-



Фиг. 10. Угол коррекции звукоснимателя.

си на диск передвигается вдоль радиуса. Звукосниматель же перемещается по дуге окружности. Поэтому вертикальная плоскость симметрии звукоснимателя, проведенная через иглу, может быть касательной к направлению звуковой канавки только в одной какой-нибудь точке. Во всех остальных точках эта плоскость оказывается повернутой на некоторый угол, и направление движения иглы не совпадает с направлением движения резца при записи, что влечет за собой возникновение нелинейных искажений.

Точку совпадения наиболее рационально выбрать у конца записи, так как там, вследствие малой линейной скорости, условия воспроизведения наиболее тяжелы. Наибольшая же погрешность в этом случае будет у начала записи.

Существует простая возможность значительно уменьшить эту погрешность. Для этого звукосниматель поворачивается так, что вертикальная плоскость симметрии, проходящая через иглу, образует некоторый угол с прямой, соединяющий вертикальную ось вращения тонарма с концом иглы (фиг. 10). Звукосниматель в этом случае должен быть вынесен несколько вперед так, чтобы конец иглы выходил за центр вращения пластинки.

Задача состоит в определении требуемого угла поворота (т. е. угла коррекции) и углов погрешности в начале и конце записи для выбранных условий. Последние определяются следующими соображениями.

При выносе иглы за центр начинает возрастать центростремительное усилие, что вызывает увеличение нагрузки на внутреннюю стенку канавки, причем при выносе иглы вперед примерно на 15 *мм* звукосниматель (особенно если он имеет небольшой вес, приведенный к концу иглы) легко вылетает из канавки. Поэтому имеет смысл задаться сравнительно небольшим выносом иглы за центр вращения пластинки (в пределах от 5 до 10 *мм*). Расстояние между вертикальной осью вращения тонарма и центром диска выбирается, исходя из общих размеров конструкции.

Как уже было сказано выше, нулевой угол погрешности должен лежать недалеко от конца записи. Ниже приводится пример расчета угла коррекции (фиг. 11) и углов погрешности (фиг. 12) для звукоснимателя типа З-94.

Исходные данные: расстояние между вертикальной осью поворотной ножки и центром диска (OO_1) 195 *мм*; выход иглы за центр диска 7 *мм*. Отсюда расстояние между вертикальной осью вращения тонарма и концом иглы (OA) 202 *мм*. Точка, где угол погрешности равен нулю, лежит на диаметре записи, равном 120 *мм*.

Таким образом, вертикальная плоскость, проходящая через иглу, должна быть касательной к окружности диаметром 120 *мм* в точке A (прямая AB). Углом коррекции в данном случае будет угол OAB. Чтобы его определить, надо вычислить угол OAO_1 в косоугольном треугольнике, все стороны которого известны:

$$\cos\angle OAO_1 = \frac{AO_1^2 + AO^2 - OO_1^2}{2\cdot AO_1\cdot AO} = \frac{60^2 + 202^2 - 195^2}{2\cdot 60\cdot 202} = 0{,}263,$$

Фиг. 11. Расчет угла коррекции.

Фиг. 12. Расчет углов погрешности.

откуда $\angle OAO_1 = 74°45'$ Следовательно, угол коррекции будет равен:

$$90° - 74°45' = 15°15' \text{ (так как угол } BAO_1 = 90°).$$

По конструктивным соображениям оказывается выгоднее округлить полученную цифру до 16° (с допуском — 1°). В этом случае нулевой угол погрешности будет на диаметре 148 *мм*. Тогда углы погрешности, вычисленные аналогичным способом, будут: для диаметра 288 *мм* (начало записи) $+7°50'$, а для диаметра 105 *мм* (конец записи) $-0°54'$.

Для того чтобы выяснить преимущество скорректированного тонарма перед прямым, найдем углы погрешности для звукоснимателя с прямым тонармом с тем же расстоянием от вертикальной оси вращения до конца иглы (202 *мм*). В качестве исходных данных берем указанную длину и нулевой угол погрешности на том же диаметре, равном 120 *мм*.

Определяемыми величинами будут: расстояние от вертикальной оси вращения тонарма до центра диска, угол погрешности в начале записи (на диаметре 288 *мм*) и угол погрешности в конце записи (на диаметре 105 *мм*).

Как можно видеть на фиг. 12, в данном случае игла до центра диска доходить не будет.

Расстояние OO_1 определяется как гипотенуза прямоугольного треугольника OAO_1

$$OO_1 = \sqrt{AO^2 + AO_1^2} = \sqrt{202^2 + 60^2} = 210,7 \text{ мм}.$$

Чтобы определить угол погрешности на диаметре 288 *мм*, надо вычислить угол OA_2O_1 в косоугольном треугольнике, все стороны которого известны:

$$\cos\angle OA_2O_1 = \frac{144^2 + 202^2 - 210,7^2}{2\cdot144\cdot202} = 0,295,$$

$$\angle OA_2O_1 = 72°50'$$

и угол погрешности равен

$$90° - 72°50' = 17°10'.$$

Угол погрешности на диаметре 105 *мм* определяем аналогичным способом

$$\cos\angle OA_1O_1 = \frac{52,5^2 + 202^2 - 210,7^2}{2\cdot52,5\cdot202} = 0,0397,$$

что соответствует углу $= 87°45'$, т. е. $\angle OA_1O_1 = 180 - 87°45' = 92°15'$.

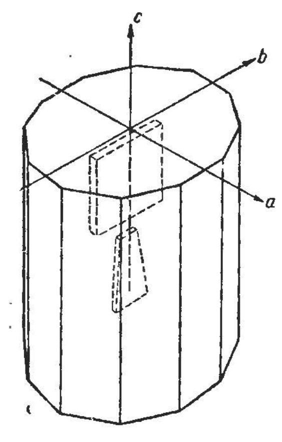
Отсюда, угол погрешности равен

$$90°-92°15'=-2°15'.$$

Следует заметить, что с увеличением длины тонарма углы погрешности при прочих равных условиях уменьшаются. Кроме того, при этом в области низких частот система начинает работать лучше. Однако, как было указано выше, длина тонарма не может быть сильно увеличена, так как она выбирается на основании конструктивных соображений и определяется размерами всего устройства.

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЗВУКОСНИМАТЕЛИ

Пьезоэлектрические звукосниматели завоевали себе прочное место в любительской практике. Работа их основана на использовании так называемого пьезоэлектрического эффекта, который присущ кристаллам некоторых солей и минералов. Если такой кристалл подвергнуть определенной механической деформации, то на его гранях появятся электрические заряды.



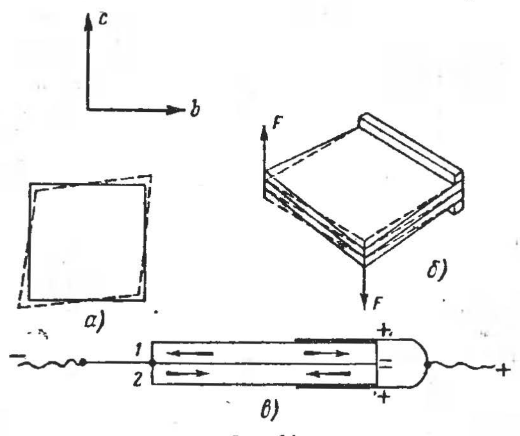
Фиг. 13. Кристалл сегнетовой соли.

Наибольшее применение в промышленности получили кристаллы сегнетовой соли. Последняя представляет собой двойную калиево-натриевую соль виннокаменной кислоты и изготовляется из отходов винодельческого производства. Для пьезоэлектрической аппаратуры специально выращиваются большие кристаллы соли, имеющие форму двенадцатигранной призмы.

На фиг. 13 показан внешний вид кристалла, а также его основные кристаллографические оси. В различных направлениях кристалл обладает неодинаковыми пьезоэлектрическими свойствами. Наибольший пьезоэлектрический эффект получается в пластинке, вырезанной перпендикулярно оси *a*. Если такую квадратную пластинку подвергнуть деформации сдвига (фиг. 14,*a*), то на ее плоскостях появятся заряды, величина которых прямо пропорциональна вели-

чине механических деформаций пластинки. Для того чтобы отвести и использовать эти заряды, плоскости пластинки покрываются каким-либо проводящим слоем.

Существует много различных способов нанесения этого слоя. Наиболее простым является наклейка на поверхность пластинки тонкой фольги. Однако при этом между поверхностью пластинки и фольгой остается слой клея, который уменьшает чувствительность пластинки. Электрически это



Фиг. 14.

а — пластинка сегнетовой соли; *б* — пьезоэлемент; *в* — пьезоэлемент параллельного соединения.

означает, что последовательно с основной емкостью пластинки включена добавочная емкость промежутка фольга—поверхность пластинки со слоем клея в качестве диэлектрика. Наличие этой емкости уменьшает напряжение, снимаемое с пластинки. Поэтому наша промышленность применяет другие способы нанесения проводящего слоя.

Наиболее распространен из них следующий: тончайший слой сусального металла (серебра или алюминия) толщиной в несколько микрон непосредственно наносится на поверхность пластинки. Сусальный металл хорошо удерживается за счет сил сцепления и без клея, поэтому чувствительность получается значительно больше. Этот метод разработан и внедрен в производство советскими инженерами А. С. Шеиным и П. Г. Поздняковым.

В звукоснимателях так же, как и в большинстве других пьезоэлектрических приборов, применяются так называемые биморфные (двойные) пьезоэлементы. Такой пьезоэлемент состоит из двух пластинок, связанных друг с другом в одно целое.

Рассмотрим, как работает биморфный пьезоэлемент, состоящий из пластинок, вырезанных так, как было показано на фиг. 13. Если такой элемент подвергнуть кручению (фиг. 14,*б*), то обе его пластинки претерпят деформацию сдвига. На их плоскостях появятся заряды определенной полярности.

Электрическое соединение проводящих слоев пластинок должно быть таким, чтобы напряжения, созданные этими зарядами, действовали согласованно. Такое соединение можно осуществить двумя способами: параллельно и последовательно. В первом случае напряжение, даваемое пьезоэлементом, равно напряжению на каждой пластинке, а во втором — в два раза больше.

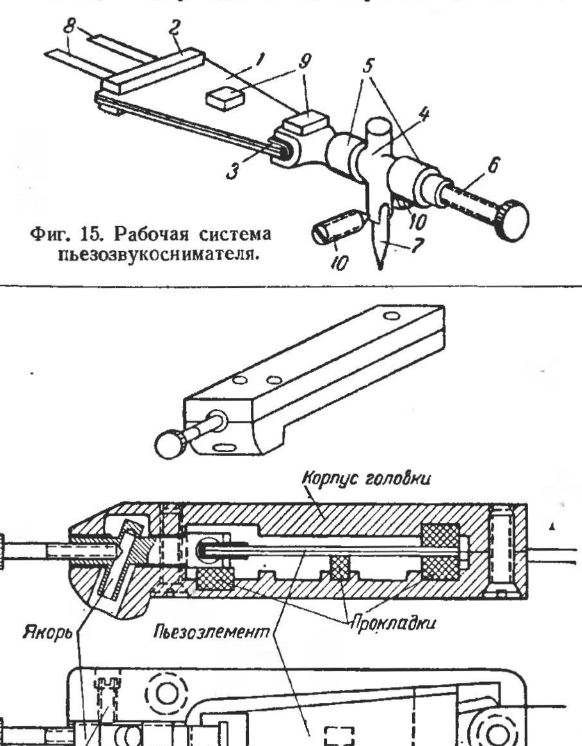
В звукоснимателях обычно применяют пьезоэлемент параллельного соединения; разрез такого элемента показан на фиг. 14,*в*. Так как в биморфном пьезоэлементе деформации пластинок всегда направлены в противоположные стороны, а при параллельном соединении полярность возникающих на пластинках напряжений также противоположна, то обе пластинки в этом случае должны быть одинаковым образом вырезаны из кристалла; это очень удобно в производственном отношении.

1. Пьезозвукосниматели АПР и ПЗ-1. В пьезоэлектрических звукоснимателях АПР и ПЗ-1 установлены трапециевидные пьезоэлементы, работающие на кручение; высота элемента равна 32 *мм*, основания трапеции соответственно равны 12 и 6 *мм*.

Способ закрепления элемента в звукоснимателе схематически показан на фиг. 15. Пьезоэлемент *1* своим широким основанием закрепляется между двумя демпфирующими прокладками *2*. Узким основанием элемент вставляется через прокладку из листовой резины *3* в паз иглодержателя *4*. Последний в резиновых подшипниках *5* лежит в канале корпуса звукоснимателя и в пределах упругости резины имеет возможность вращаться вокруг своей продольной оси.

Граммофонная игла *7* вставляется снизу в иглодержатель и закрепляется зажимным винтом *6*. Следуя во время

работы за изгибами звуковой канавки грампластинки, игла передает колебания иглодержателю. Последний изгибает пьезоэлемент, возбуждая таким образом его обкладками



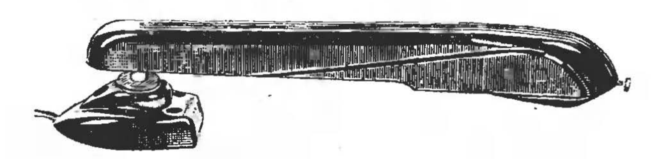
Фиг. 15. Рабочая система пьезозвукоснимателя.

Фиг. 16. Устройство головки пьезозвукоснимателя.

электрическое напряжение. Это напряжение снимается с элемента с помощью выводов *8*, сделанных из мягкой луженой фольги. Добавочные демпфирующие прокладки *9*,

проложенные с одной стороны пьезоэлемента, служат для гашения собственных резонансов системы.

Стопорные винты *10*, установленные в корпусе звукоснимателя (или резиновый манжет, надетый на нижний выступ иглодержателя), служат для ограничения угла поворота

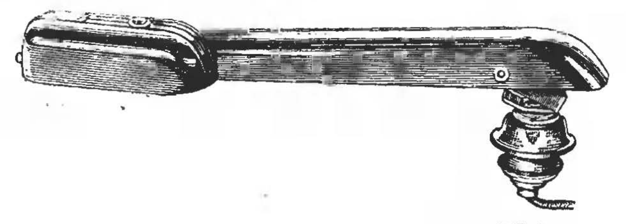


Фиг. 17. Внешний вид пьезозвукоснимателя АПР.

иглодержателя. Такое ограничение необходимо для предохранения пьезоэлемента от поломки при смене иглы.

Демпфирующие прокладки изготовляются из специального материала, имеющего большую вязкость.

Устройство головки звукоснимателя типа АПР показано на фиг. 16. Звукосниматель ПЗ-1 имеет примерно такую же

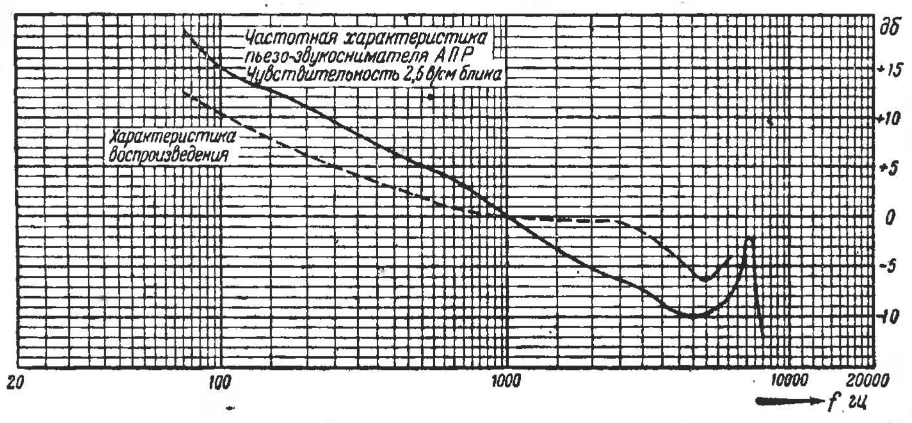


Фиг. 18. Внешний вид пьезозвукоснимателя ПЗ-1.

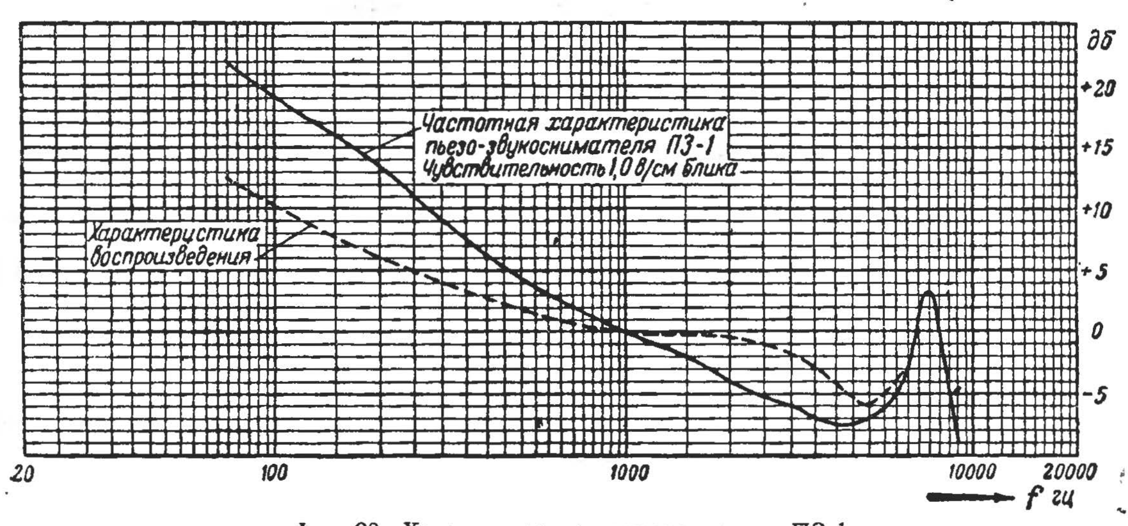
конструкцию. Обе конструкции позволяют легко отделять головку звукоснимателя от тонарма, что создает известные удобства при ремонте. Общий вид этих звукоснимателей показан на фиг. 17 и 18.

2. Физические свойства кристаллов сегнетовой соли. Остановимся кратко на физических свойствах кристаллов сегнетовой соли, так как они существенно сказываются на эксплоатации пьезоэлектрических звукоснимателей.

Кристаллы сегнетовой соли хорошо растворяются в воде. Хотя пьезоэлемент в головке звукоснимателя защищен от



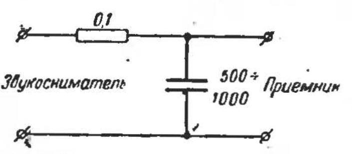
Фиг. 19. Характеристика звукоснимателя АПР.



Фиг. 20. Характеристика звукоснимателя ПЗ-1.

непосредственного воздействия влаги, однако до сих пор проблема влагозащиты пьезоэлементов целиком не решена, и поэтому пьезоэлектрические звукосниматели надо беречь от сырости.

Диэлектрическая постоянная и пьезоэлектрический модуль, которые определяют соответственно емкость и чувствительность пьезоэлемента, зависят от температуры. При температуре выше 25—30° чувствительность пьезоэлектрических звукоснимателей падает. Следует также иметь в виду, что сегнетовая соль плавится при 63°, а ее рабочий диапазон практически ограничен 40—45°. При длительном воздействии такой температуры происходит так называемое выветривание соли—поверхностные слои кристалла теряют кристаллизационную воду; на кристалле появляется белый налет. Этот налет не исчезает при понижении температуры и если он значителен, то сильно снижает чувствительность звукоснимателя. Поэтому при установке пьезоэлектрического звукоснимателя надо следить, чтобы он не оказался вблизи нагревающихся во время работы деталей и ламп.



Фиг. 21. Схема фильтра для пьезозвукоснимателя.

3. Частотные характеристики пьезозвукоснимателей. Пьезоэлектрические звукосниматели включаются обычно на высокоомный вход усилителя со входным сопротивлением от 0,5 до 1 *мгом.*

Напряжение, даваемое пьезоэлементом, прямо пропорционально смещению иглы, поэтому частотная характеристика пьезозвукоснимателя, снятая с помощью частотной пластинки, записанной с постоянной колебательной скоростью, имеет падающий характер (фиг. 19 и 20). Подъем характеристики на частотах 6 000—7 000 *гц*, получающийся за счет резонанса подвижной системы звукоснимателя, заметно сказывается на воспроизведении, создавая неприятное звучание записи и подчеркивая шипение пластинки.

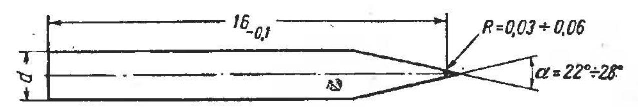
В некоторых экземплярах пьезозвукоснимателей этот пик выражен еще более резко, чем это показано на фиг. 19 и 20. В этом случае полезно включить непосредственно после звукоснимателя несложный фильтр, ослабляющий высокие частоты. Схема фильтра приведена на фиг. 21.

Некоторый подъем частотной характеристики на низких частотах, имеющих место в пьезоэлектрических звукоснимателях, может оказаться чрезмерным и вызвать «бубнение». В этом случае можно рекомендовать снизить величину нагрузочного сопротивления до 0,2 *мгом*, что уменьшит подъем частотной характеристики на самых низких частотах примерно на 6 *дб*.

Пьезоэлектрические звукосниматели АПР и ПЗ-1 имеют сравнительно небольшой вес, приведенный к концу иглы, лежащий в пределах 70—80 *г*.

ИГЛА

В те времена, когда преимущественным распространением пользовалось акустическое воспроизведение граммофонных пластинок, было в ходу много различных типов



Фиг. 22. Данные основных типов игл.

Игра громкого тона: d=1,6 *мм*. Игла среднего тона: d=1,4 и 1,2 *мм*. Игла тихого тона: d=1*мм*.

игл. Формой и размерами иглы регулировали частотную характеристику мембран и громкость воспроизведения. Иглы изготовлялись из самых различных материалов: стали, стекла, дерева, камня (сапфир, алмаз), сплавов твердых металлов. Применялись различные комбинированные иглы, как, например, игла, состоящая из тонкой вольфрамовой проволоки, заделанной в графитовую массу.

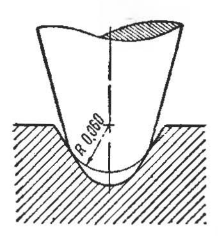
В наши дни находят применение главным образом стальные и сапфировые иглы, причем стальные выпускаются также хромированными. Последние имеют повышенную твердость и могут воспроизводить от 10 до 15 сторон граммпластинки. Это особенно удобно для электропроигрывателей с автоматической сменой пластинок.

Форма и размеры отечественных стальных игл стандартизованы. Данные основных типов приведены на фиг. 22.

Важное значение имеет правильное положение конца иглы в канавке, показанное на фиг. 23. В этом случае игла ведется боковыми стенками канавки, что гарантирует наилучшее воспроизведение записи. Игла с радиусом закруг-

ления, меньшим радиуса закругления дна канавки, не сможет следовать за всеми извилинами последней, и воспроизведение будет искаженным. Однако стальная игла обычного типа притирается к канавке в течение первых секунд игры и дальше идет точно по канавке. В процессе работы игла постепенно стирается, что ухудшает воспроизведение высоких частот, так как на этих частотах стертая игла уже не может хорошо следовать за изгибами канавки.

Надо помнить, что обычная стальная игла способна хорошо воспроизвести только одну сторону граммофонной пластинки. Микрофотографии концов игл среднего тона после воспроизведения различными электрическими звукоснимателями и мембраной портативного граммофона шеллачной пластинки приведены на фиг. 24. Очевидно, что, заставляя иглу проигрывать несколько сторон, мы будем получать искаженное воспроизведение и, кроме того, портить пластинку.



Фиг. 23. Правильное положение конца иглы в канавке.

Совершенно недопустимо поворачивать стертую иглу, пытаясь получить лучшие результаты. Такая игла первое время работает как резец, разрушая пластинку, а после того как притрется, все равно не сможет надлежащим образом воспроизвести высокие частоты.

Все описанные в брошюре звукосниматели рассчитаны на работу со стандартными иглами среднего тона (диаметром 1,4 *мм*). Поэтому и все испытания звукоснимателей проводятся с помощью этих игл. Игла громкого тона при наличии в усилителе (или радиоприемнике) некоторого запаса усиления, а также возможности регулировать громкость и тембр, не нужна, и применение ее в электрических звукоснимателях вызовет только излишний износ пластинок. Игла тихого тона, обладая повышенной гибкостью, вызовет завал высоких частот при значительном снижении чувствительности. Частотные характеристики, а также данные чувствительности звукоснимателя типа З-94 с различными иглами, приведены на фиг. 25. Как видно, игла тихого тона в этом звукоснимателе работает хорошо, и при достаточном запасе усиления применение ее может быть даже

рекомендовано, так как она уменьшает шипение, а также износ пластинки.

Применение каменных (сапфировых или алмазных) игл рационально только в специальных звукоснимателях с весом, приведенным к концу иглы, не более 30 *г*. Известно, что чем тверже игла, тем сильнее она изнашивает пластинку, при прочих равных условиях. Поэтому тяжелый звукосниматель с сапфировой иглой сильно сокращает срок



Фиг. 24. Микрофотографии игл среднего тона.

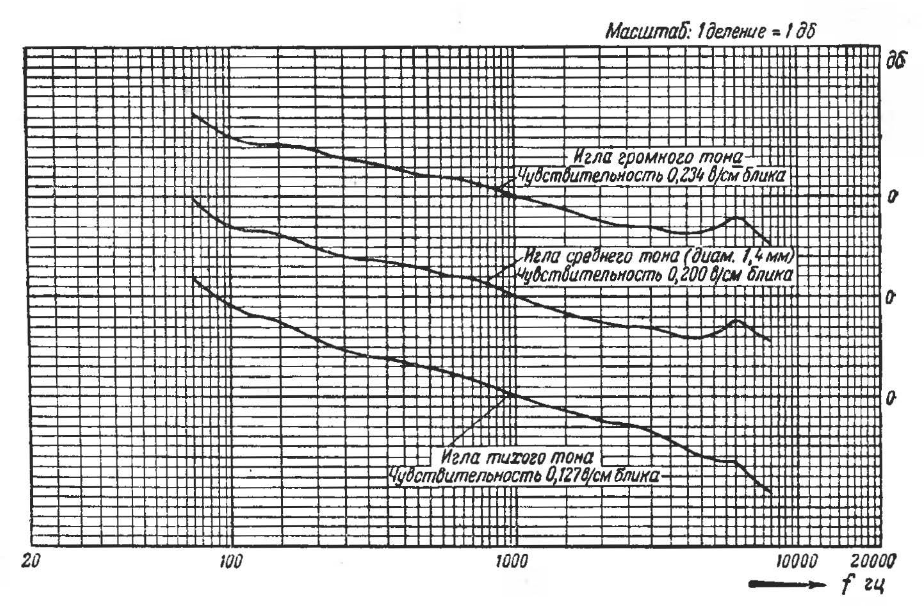
Наверху слева — после воспроизведения одной стороны пластинки $Ф_{80}$ звукоснимателем З-94. Внизу—то же, звукоснимателем З—96. Наверху справа—то же, мембраной портативного граммофона.

службы пластинок, а быстрый износ пластинки влечет за собой резкое возрастание шипения.

Таким образом, преимущество каменной иглы, состоящее в том, что новая каменная игла на новой пластинке дает меньший уровень шипения, чем стальная, будет быстро сведено на-нет. Кроме того, изношенная пластинка легко может вызвать повреждение иглы. Последнее надо иметь в виду при пользовании такими иглами: ими нельзя воспроизводить изношенные или поврежденные пластинки.

ИСПЫТАНИЕ ЗВУКОСНИМАТЕЛЕЙ

Самой полноценной проверкой звукоснимателя является прослушивание его работы с помощью хорошей воспроизводящей установки. Если воспроизведение кажется приятным и натуральным, то это—лучшая гарантия того, что звукосниматель имеет хорошие объективные показатели. Но, с другой стороны, прослушивание не дает конкретных дан-



Фиг. 25. Частотные характеристики образца звукоснимателя З-94 с различными иглами.

ных и не позволяет установить особенности свойств звукоснимателя, определяющие его качество.

Поэтому, кроме прослушивания, следует во всяком случае знать частотную характеристику звукоснимателя, а также убедиться в отсутствии заметных нелинейных искажений, в особенности в области высоких и средних частот. Последнее весьма существенно потому, что и при хорошей частотной характеристике звукосниматель может работать плохо. Это бывает, например, в том случае, когда якорь звукоснимателя слегка касается корпуса катушки.

1. Необходимая измерительная аппаратура. Для описываемых ниже измерений необходимы:

Воспроизводящая установка, состоящая из приводного механизма с диском, усилителя низкой частоты и громкоговорителя.

Стандартные стальные иглы среднего тона, диаметром 1,4 *мм*, длиной 16^{-1} *мм* и радиусом закругления 60 микрон. Последний в большинстве случаев проверить затруднительно. Во всяком случае необходимо убедиться в том, что конец иглы не имеет тупого среза и не загнут.

Частотная измерительная пластинка типа Ч-2 (описание этой пластинки приводится ниже) или любая иная, позволяющая произвести измерения в интервале частот от 50 до 8 000 *гц*.

Ламповый или купроксный вольтметр с высокоомным входным сопротивлением и диапазоном измерений для электромагнитных звукоснимателей от 50 *мв* до 1 *в*, а для пьезоэлектрических до 20—25 *в*. При этом показания прибора не должны существенно зависеть от частоты в пределах от 50 до 10 000 *гц*.

Электронный осциллоскоп, позволяющий вести наблюдения в тех же диапазонах частот и напряжений.

2. Частотные пластинки. Все измерения звукоснимателей производятся с помощью частотных измерительных пластинок, на которых записаны чистые тона различной частоты. Уровень, с которым записана данная частота, характеризуется шириной светового блика; эта величина указана на этикетке пластинки. Зависимость, существующая между шириной светового блика, амплитудой записи и колебательной скоростью, была выяснена нами в разделе «Звукосниматели».

Выпущенная Всесоюзным научно-исследовательским институтом звукозаписи частотная пластинка типа Ч-2 содер-

жит записи отдельных чистых тонов в диапазоне частот от 50 до 8 000 *гц*. На одной стороне пластинки записаны частоты (от края к центру) 8 000, 7 000, 6 000, 5 000 и 4 000 *гц*, а на другой — 3 000, 2 000, 1 000, 600, 400, 200, 150, 100, 75 и 50 *гц*. Ширина блика на частотах 50 и 75 *гц* равна 5 *мм*; 100, 150 и 200 *гц* равна 7,5 *мм* и на остальных равна 15 *мм*. Таким образом, чтобы привести результаты измерений к общему уровню, следует показания вольтметра для частот 50 и 75 *гц* умножить на 3, а для частот 100, 150 и 200 *гц* — на 2. Диаметр пластинки Ч-2 равен 300 *мм*.

При измерениях с частотными пластинками необходимо следить за правильностью числа оборотов, так как иначе частота будет отличаться от номинальной, понижаясь с уменьшением числа оборотов и повышаясь при увеличении. Это приведет к искажению результатов измерений. Для проверки числа оборотов по краю этикетки пластинки нанесены стробоскопические деления. Проверка производится с помощью неоновой лампы или лампы накаливания, питаемой 50-периодным переменным током. Деления освещаются светом этой лампочки; при 78 об/мин они должны казаться неподвижными. Если число оборотов пластинки будет меньше, то деления будут казаться движущимися против вращения диска; если число оборотов будет больше, то они будут двигаться по направлению вращения.

3. Предварительное прослушивание. Предварительное прослушивание имеет целью установить, что звукосниматель в порядке, т. е., что цела катушка или пьезоэлемент, нет обрыва в выводном шнуре, подвижная система не соприкасается с корпусом и якорь не залипает. Наличие любого из перечисленных дефектов сейчас же скажется на звучании в виде сильно пониженной громкости или хорошо различимых искажений.

4. Измерение веса, приведенного к концу иглы. Каждый тип звукоснимателя обладает определенным оптимальным весом, приведенным к концу иглы. При этом действительное давление на пластинку для полной надежности работы должно быть процентов на 10 больше.

Величину давления можно установить взвешиванием звукоснимателя в его рабочем положении, причем звукосниматель должен опираться на чашку весов концом своей иглы.

Оптимальный вес при наличии регулируемого противовеса или отжимной пружины легко определить с помощью частотной пластинки Ч-2 и осциллоскопа. Так как наиболее тяжелые условия воспроизведения лежат в области самых низких частот (область второго резонанса и максимальных амплитуд записи), то хорошее воспроизведение частот, начиная с 200 *гц* и ниже, является показателем того, что вес, приведенный к концу иглы, больше или близок к оптимальному. При давлении, меньшем оптимального, кривая, наблюдаемая на экране осциллоскопа, будет сильно искажена, звукосниматель будет дребезжать, а игла прыгать по канавке.

Регулируя противовес или отжимную пружину, легко найти оптимальный вес. При этом игла будет нормально следовать по канавке и искажений наблюдаться не будет.

5. Снятие частотной характеристики. Частотная характеристика звукоснимателя определяется измерением (с помощью вольтметра) его отдачи на различных частотах. При этом звукосниматель должен быть нагружен на активное сопротивление, равное нормальному входному сопротивлению усилителя низкой частоты радиоприемника — 0,5 — 1 *мгом*.

Снятие частотной характеристики производится всегда, начиная с высоких частот. Делается это для того, чтобы избежать завала высоких частот из-за неогибания кривизны канавки стершимся концом иглы.

Полученные данные вписываются в таблицу. После учета поправочных коэффициентов в области самых низких частот, приступают к пересчету величин напряжения в децибелы. При этом за нулевой уровень обычно принимается отдача звукоснимателя на частоте 1 000 *гц*. Ниже приведены примерные цифровые данные частотной характеристики звукоснимателя в диапазоне от 8 000 до 1 000 *гц*.

Частота в *гц*	8 000	7 000	6 000	5 000	4 000	3 000	2 000	1 000
Показания вольтметра в *в*	0,330	0,330	0,300	0,470	0,630	0,480	0,420	0,460
дб	−2,9	−2,9	−3,7	+0,2	+2,7	+0,4	−0,8	0

В тех случаях, когда отдача на данной частоте превышает отдачу на 1 000 *гц*, вычисление производится непосредственно по формуле $N_{\partial б} = 20 \lg \frac{U_f}{U_{1\,000}}$.

Для частоты 4 000 *гц*, например:

$$N_{\partial б} = 20 \lg \frac{0{,}630}{0{,}460} = 2{,}7 \ \partial б;$$

в этом случае в таблицу вписывается $+2{,}7$ *дб*.

Когда же отдача на данной частоте меньше отдачи на 1 000 *гц*, то берут обратное отношение напряжений: $N_{\partial б} = -20 \lg \frac{U_{1\,000}}{U_f}$, например, для частоты 8 000 *гц*:

$$N_{\partial б} = -20 \lg \frac{0{,}460}{0{,}330} = -2{,}9 \ \partial б;$$

в этом случае в таблицу вписывается минус 2,9 *дб*.

Полученные таким образом точки наносятся на частотный бланк и соединяются между собой (см., например, фиг. 9).

6. Измерение чувствительности. Чувствительностью звукоснимателя называется его отдача при воспроизведении записи чистого тона 1 000 *гц* с шириной светового блика, равного 1 *см*.

Измеряется она в вольтах на сантиметр блика (*в/см* блика). Блик шириной 1 *см* соответствует колебательной скорости 4,08 *см/сек*.

Таким образом, чтобы определить чувствительность звукоснимателя с помощью частотной пластинки Ч-2, на которой частота 1 000 *гц* записана с бликом 15 *мм*, следует величину отдачи звукоснимателя разделить на 1,5.

7. Измерение нелинейных искажений. Наиболее наглядным и в то же время достаточно чувствительным способом оценки нелинейных искажений звукоснимателя является наблюдение на экране электронного осциллоскопа формы напряжения, получаемого при воспроизведении частотной пластинки. Хотя этот способ не дает возможности количественно оценить искажения (получить величину коэффициента гармоник), он все же позволяет в ряде случаев определить дефекты конструкции или регулировки звукоснима-

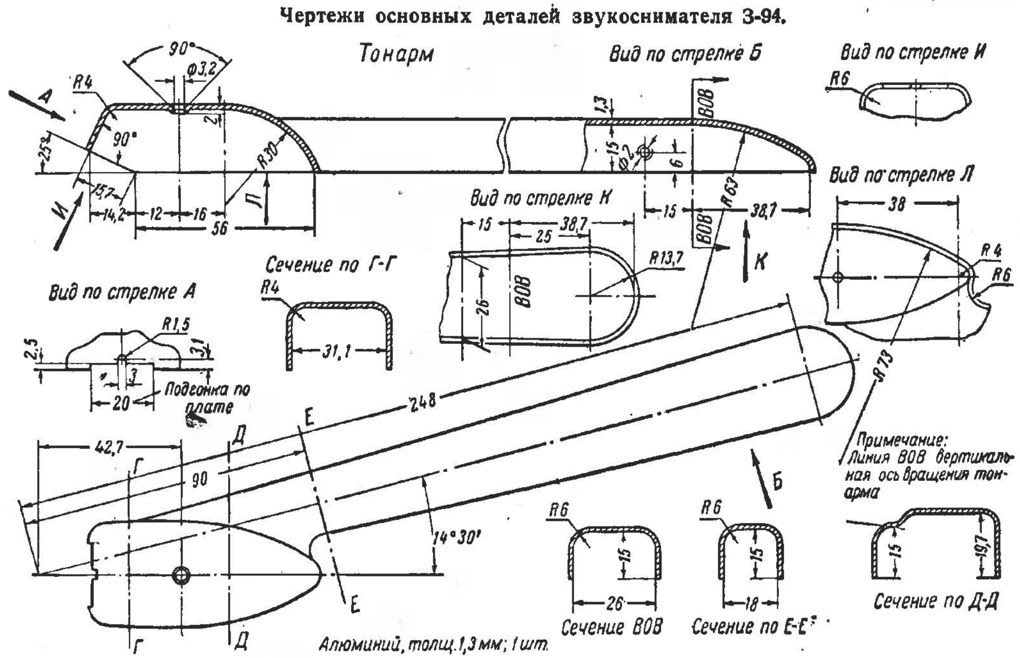
теля. Кроме того, отсутствие видимых нелинейных искажений в области средних и высоких частот (начиная с 400 *гц* и выше) является гарантией хорошей работы звукоснимателя на этом участке диапазона. Что же касается частот ниже 400 *гц*, то небольшие симметричные искажения кривой, часто возникающие благодаря люфтам в стойке тонарма и по другим причинам, практически на качестве воспроизведения не сказываются.

Искажения кривой в области самых низких частот могут возникнуть, как мы уже указывали, и вследствие недостаточного веса, приведенного к концу иглы. Эта причина легко устраняется с помощью некоторого утяжеления звукоснимателя.

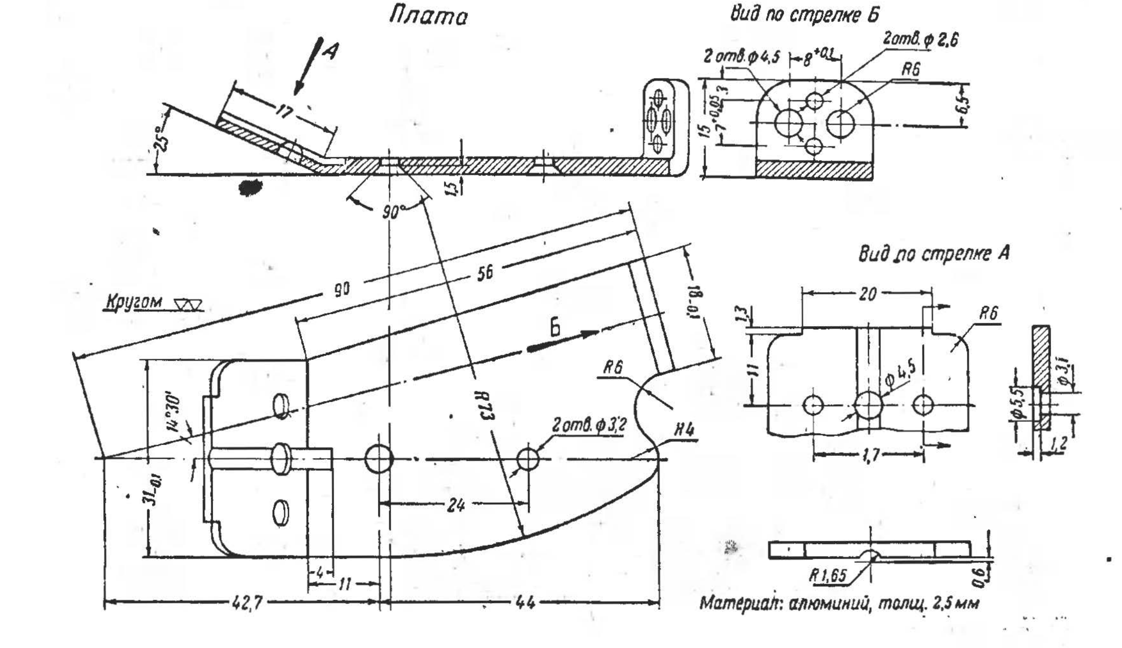
Радиолюбителям, желающим более подробно ознакомиться с механической звукозаписью, можно указать следующую литературу:

А. А. Харкевич, Электроакустическая аппаратура.
Е. И. Регирер, Граммофонная пластинка.
И. С. Рабинович, Любительская запись звука.

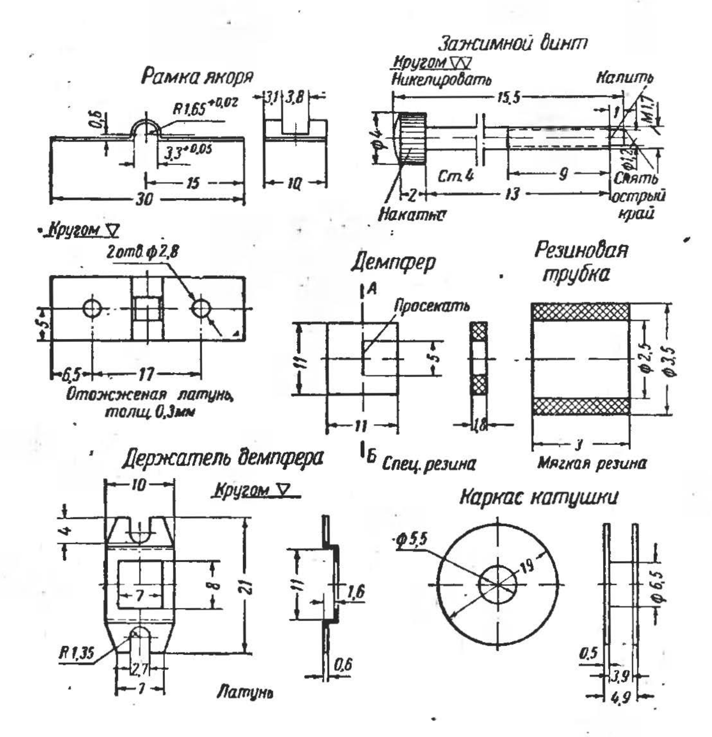
Чертежи основных деталей звукоснимателя З-94.



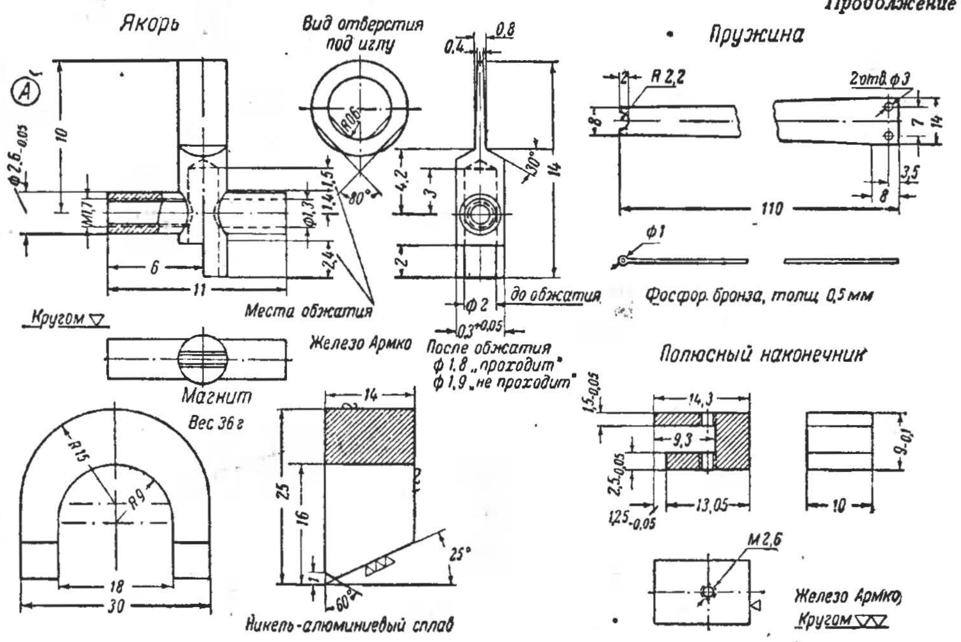
Продолжение

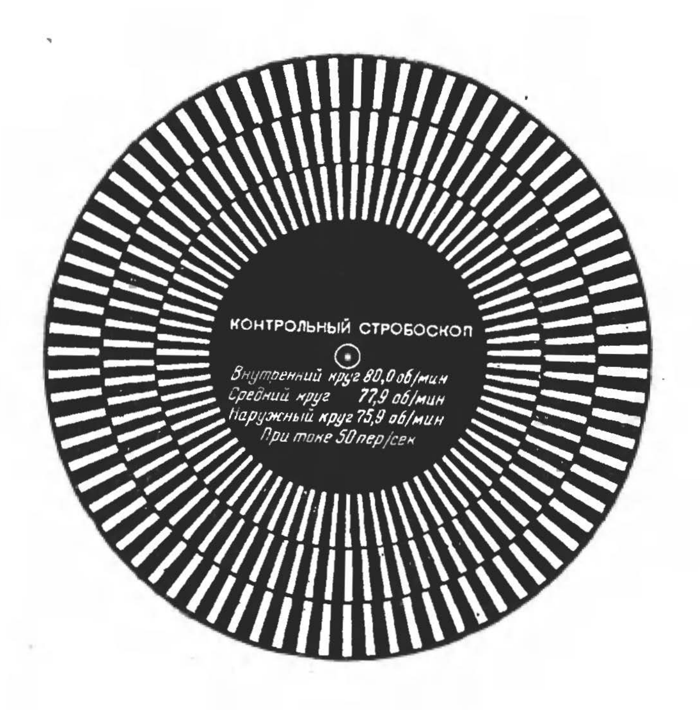


Продолжение



Продолжение




КОНТРОЛЬНЫЙ СТРОБОСКОП
Внутренний круг 80,0 об/мин
Средний круг 77,9 об/мин
Наружный круг 75,9 об/мин
При токе 50 пер/сек